

## HARD ENDO-SCOPE OPTICAL SYSTEM

**Publication number:** JP10073762

**Publication date:** 1998-03-17

**Inventor:** IBE MASARU

**Applicant:** OLYMPUS OPTICAL CO

**Classification:**

- **international:** G02B13/04; G02B13/18; G02B23/26; G02B25/00;  
G02B13/04; G02B13/18; G02B23/26; G02B25/00;  
(IPC1-7): G02B13/04; G02B13/18; G02B23/26;  
G02B25/00

- **europen:**

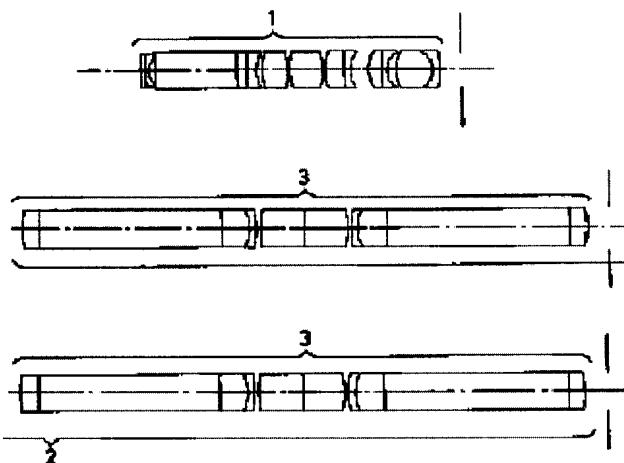
**Application number:** JP19960229771 19960830

**Priority number(s):** JP19960229771 19960830

[Report a data error here](#)

### Abstract of JP10073762

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a hard endo-scope optical system excellently compensating various aberrations such as a curvature of field as a whole hard endo-scope optical system. **SOLUTION:** In a hard endo-scope optical system composed of an objective optical system 1 and a relay optical system 2 in order from the tip side of an inserting part, by representing a number of times of relaying by N, the objective optical system 1 has more than (N+2) surfaces of the refractive surfaces of negative refractive powers being in contact with air. When this system is composed of the objective optical system, the relay optical system 2 and an eyepiece optical system, an observing optical system except the relay optical system has more than (N+4) surfaces of refractive surfaces of negative refractive power being in contact with air. When this system is composed of the objective optical system, the relay optical system 2 and an image inverting optical system, the objective optical system 1 has more than (N+2) surfaces of the refractive surfaces of negative refractive powers being in contact with air.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-73762

(43)公開日 平成10年(1998)3月17日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 13/04  
13/18  
23/26  
25/00

識別記号

府内整理番号

F I

G 0 2 B 13/04  
13/18  
23/26  
25/00

技術表示箇所

D  
C  
A

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 14 頁)

(21)出願番号 特願平8-229771

(22)出願日 平成8年(1996)8月30日

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社  
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 井辺 大

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリン  
パス光学工業株式会社内

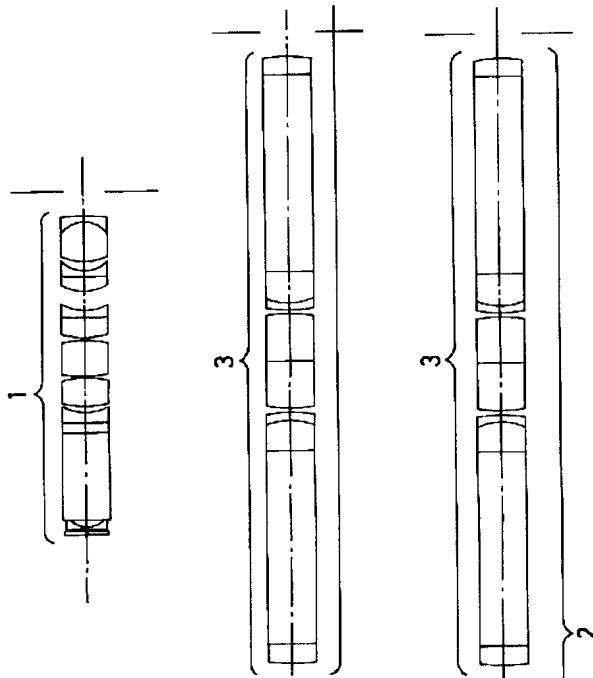
(74)代理人 弁理士 喜澤 弘 (外7名)

(54)【発明の名称】 硬性鏡光学系

(57)【要約】

【課題】 硬性鏡光学系全体として像面湾曲等の諸収差を良好に補正した硬性鏡光学系。

【解決手段】 挿入部先端側から順に、対物光学系1、リレー光学系2からなる硬性鏡光学系において、Nをリレー光学系2のリレー回数として、対物光学系1が空気と接する負の屈折力の屈折面を(N+2)面以上有する。対物光学系、リレー光学系、接眼光学系からなる場合には、リレー光学系を除く観察光学系が空気と接する負の屈折力の屈折面を(N+4)面以上有する。対物光学系、リレー光学系、像反転光学系からなる場合には、対物光学系が空気と接する負の屈折力の屈折面を(N+2)面以上有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 挿入部先端側から順に、少なくとも、対物光学系、リレー光学系からなる硬性鏡光学系において、Nを前記リレー光学系のリレー回数として、前記対物光学系が空気と接する負の屈折力の屈折面を(N+2)面以上有することを特徴とする硬性鏡光学系。

【請求項 2】 挿入部先端側から順に、少なくとも、対物光学系、リレー光学系、接眼光学系からなる硬性鏡光学系において、Nを前記リレー光学系のリレー回数として、前記リレー光学系を除く観察光学系が空気と接する負の屈折力の屈折面を(N+4)面以上有することを特徴とする硬性鏡光学系。

【請求項 3】 挿入部先端側から順に、少なくとも、対物光学系、リレー光学系、像反転光学系からなり、前記対物光学系及びリレー光学系が挿入部内に配置されている硬性鏡光学系において、Nを前記リレー光学系のリレー回数として、前記対物光学系が空気と接する負の屈折力の屈折面を(N+2)面以上有することを特徴とする硬性鏡光学系。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、硬性鏡光学系に関し、特に、像面湾曲等の諸収差が良好に補正された硬性鏡光学系に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来の硬性鏡光学系として、例えば特開平3-39915号に記載されたものがある。この硬性鏡光学系は、図9(a)に断面を分割して示す構成をしており、挿入部先端側から順に、対物光学系1とリレー光学系2から構成されている。対物光学系1は、レトロフォーカスタイプであり、瞳位置を挟んで物体側に負の屈折力を有するレンズ群を、像側に正の屈折力を有するレンズ群を配置してある。そのため、広角で、かつ、像高の大小に関わらず主光線が像面に垂直に入射するテレセントリック系が実現されている。また、硬性鏡光学系は、リレー光学系2によって像伝送を行うため、このリレー光学系の空気接触面をできる限り少なくすることによって空気接触面での光の反射等での損失を少なくする必要があり、1回のリレー光学系3は単純な構成にせざるを得ない。そのため、リレー光学系2は1回のリレー光学系3を3個の凸レンズで構成し、空気接触面を6面としている。

【0003】また、他の従来の硬性鏡光学系として、例えば特開昭52-121347号に記載されたものがある。この硬性鏡光学系の対物光学系は、図10(a)に示すような構成をしており、挿入部先端側から順に、前群発散レンズ系と後群収斂レンズ系から構成されている。そのため、この対物光学系は、広角でコンパクトなレンズ系であり、さらに、正の像面湾曲を発生するような構成になっているので、リレー光学系で発生する負の

像面湾曲と互いに弱めあって、リレー光学系で伝送された後に像面湾曲の小さい良好な像を観察することができる。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところで、図9(a)に示した硬性鏡光学系の1回のリレー光学系3は、凸レンズ3枚の単純な構造になっているため、必然的に負の像面湾曲が発生している。その上、この1回のリレー光学系3を3個接続して用いているので、リレー光学系2では1回のリレー光学系3の3倍の大きさの負の像面湾曲が発生している。したがって、対物光学系1が良好に補正されていても、硬性鏡光学系としての最終像は負の像面湾曲を含んでおり、中心と周辺で同時にフォーカスすることができない。そこで、対物光学系1によって、リレー光学系2も含めた硬性鏡光学系全体としての像面湾曲を良好に補正する必要がある。しかし、図9(a)に示した硬性鏡光学系の対物光学系1の構成では、対物光学系1に負の像面湾曲を補正するためには効果である空気と接する負の屈折力の屈折面が2面しかないため、完全には負の像面湾曲を補正できていない。図9(b)に、図9(a)に示した硬性鏡光学系の収差状況を示す。負の像面湾曲が発生していることが分かる。

【0005】また、図10(a)に示した硬性鏡光学系の対物光学系も、それ自身単独では正の像面湾曲を発生し、リレー光学系で発生している負の像面湾曲を弱める効果を有している。しかし、図10(a)の構成では完全に像面湾曲を補正すると、他の収差(特にコマ収差の対称性)が悪化してしまうため、ある程度負の像面湾曲が残存することを許容している。図10(b)に、図10(a)に示した硬性鏡光学系の対物光学系にリレー光学系を接続した状態での収差状況を示す。サジタル方向に負の像面湾曲が残存しているのが分かる。

【0006】ここで、硬性鏡光学系で取り込んで伝送した像を高倍率の拡大光学系で拡大して観察したり、ハイビジョンテレビカメラで撮像することを想定すると、ハイビジョンテレビカメラの高い要求仕様に合わせて硬性鏡光学系にも従来のテレビカメラと接続していたとき以上の明るさ及び解像度が要求される。

【0007】しかし、図9(a)及び図10(a)に示す従来の硬性鏡光学系では、収差性能が不足しており、ハイビジョンテレビカメラの性能を活かし切ることができなかった。

【0008】本発明は従来技術のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、硬性鏡光学系全体として像面湾曲等の諸収差を良好に補正した硬性鏡光学系を提供することである。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の硬性鏡光学系は、挿入部先端側から順に、少なくとも、対物光学系、リレー光学系からなる硬性鏡光学系に

おいて、Nを前記リレー光学系のリレー回数として、前記対物光学系が空気と接する負の屈折力の屈折面を(N+2)面以上有することを特徴とするものである。

【0010】本発明のもう1つの硬性鏡光学系は、挿入部先端側から順に、少なくとも、対物光学系、リレー光学系、接眼光学系からなる硬性鏡光学系において、Nを前記リレー光学系のリレー回数として、前記リレー光学系を除く観察光学系が空気と接する負の屈折力の屈折面を(N+4)面以上有することを特徴とするものである。

【0011】本発明のさらにもう1つの硬性鏡光学系は、挿入部先端側から順に、少なくとも、対物光学系、リレー光学系、像反転光学系からなり、前記対物光学系及びリレー光学系が挿入部内に配置されている硬性鏡光学系において、Nを前記リレー光学系のリレー回数として、前記対物光学系が空気と接する負の屈折力の屈折面を(N+2)面以上有することを特徴とするものである。

【0012】以下、本発明において上記の構成をとる理由と作用について説明する。図9(a)に示したような対物光学系1と、1回のリレー光学系3を整数個接続したリレー光学系2とから構成される硬性鏡光学系において、最終像における像面湾曲を良好に補正するための手段について考える。最も単純には、硬性鏡光学系を構成する光学系、すなわち、対物光学系及び1回のリレー光学系が各々単独で像面湾曲が補正されていれば、最終像において像面湾曲は発生しない。しかし、硬性鏡光学系は1回のリレー光学系を整数個繰り返し用いて像伝送を行ふため、この1回のリレー光学系の空気と接する屈折面をできる限り少なくすることによって、空気と接する屈折面での光の反射等での損失を少なくする必要があり、したがって、1回のリレー光学系はできるだけ単純な構成にせざるを得ない。また、1回のリレー光学系は結像光学系であるため、全体としては正の屈折力を持つ凸レンズ群である。そのため、その構成を単純化するに従つて負の像面湾曲が大きく発生することになる。以上から、1回のリレー光学系では必然的に負の像面湾曲が発生し、それを整数個接続したリレー光学系全体では1回のリレー光学系の整数倍の大きさの負の像面湾曲が発生する。

【0013】したがって、図9(a)に示したような構成の硬性鏡光学系では、最終像における像面湾曲を良好に補正するためには、対物光学系で正の像面湾曲を発生させて、リレー光学系で発生した負の像面湾曲を相殺し、補正することが必要となる。像面湾曲を正の方向に発生させるためには負の屈折作用が必要であるが、ガラス同士の接合面に負の屈折作用を持たせると、接合レンズのパワーを一定とした場合には、前後の空気と接する屈折面で接合面の負の屈折作用を打ち消すように屈折作用を持たせなければならず、結果として、同一パワーの

単レンズの場合と比較して負の像面湾曲が発生することが多い。そのため、正の像面湾曲を発生させるためには、空気と接する負の屈折力の屈折面が必要となる。1面で発生する正の像面湾曲の大きさは、負の屈折力の屈折面の曲率(曲率半径の逆数)及び前後の屈折率差に比例する。ここで、屈折面の曲率を大きくすると、レンズの加工性が悪化すること等の問題が発生する傾向があるため、屈折面の曲率は極端に大きくすることはできない。そのため、正の像面湾曲を大きく発生させるためには、屈折面の前後の屈折率差を大きくすることが有効であるが、この点からも、屈折面の前後の屈折率差を大きく取れる空気と接する負の屈折力の屈折面は、像面湾曲を補正する上で有効である。

【0014】したがって、リレー光学系で発生する負の像面湾曲を、対物光学系で正の像面湾曲を発生させて相殺し補正することによって、最終像における像面湾曲を良好に補正するためには、対物光学系に空気と接する負の屈折力の屈折面を配置することが有効である。1つの空気と接する負の屈折力の屈折面で発生させることができ正の像面湾曲の大きさは、前後の面の屈折率差が有限であること、及び、曲率にも上限があることから制限される。したがって、リレー光学系で発生する像面湾曲を良好に補正するためには、対物光学系に複数個の空気と接する負の屈折力の屈折面を配置する必要がある。ここで、対物光学系に必要な空気と接する負の屈折力の屈折面の個数は、リレー光学系で発生している負の像面湾曲の大きさに依存し、これは1回のリレー光学系で発生する負の像面湾曲の大きさのリレー回数倍であるため、リレー光学系のリレー回数に依存している。

【0015】少なくとも対物光学系及びリレー光学系で構成される本発明による硬性鏡光学系は、対物光学系に空気と接する負の屈折力の屈折面を(N+2)面以上配置することによって、最終像における像面湾曲を良好に補正している。ここで、Nはリレー光学系のリレー回数である。この空気と接する負の屈折力の屈折面の数が少ないと、像面湾曲以外の収差とのバランスをとりながらリレー光学系で発生する負の像面湾曲を十分に補正することができない。

【0016】ここで、対物光学系中の空気と接する負の屈折力の屈折面の数を多くすると、各面の負担する負のパワーが小さくなり、製造誤差や組立誤差の影響を受けなくなるため、好ましい。しかし、空気と接する負の屈折力の屈折面の数を多くすることは、レンズ枚数を増やすことにつながり、原価の高騰を招くため、好ましくない。そのため、ハイビジョンテレビカメラで撮像すること等を想定した高い仕様での硬性鏡光学系には、対物光学系に空気と接する負の屈折力の屈折面を(N+2)面以上(N+7)面以下配置することが好ましい。

【0017】また、後記の実施例4の構成を示す図4に示したような対物光学系、1回のリレー光学系を整数個

接続したリレー光学系、及び、接眼光学系から構成される硬性鏡光学系においては、最終的に評価の対象となるリレー光学系によって結像した最終像を接眼光学系によって拡大してできる虚像において、像面湾曲が良好に補正されていなければならない。そのためには、リレー光学系で発生した負の像面湾曲をリレー光学系以外の光学系で相殺して補正すればよい。

【0018】対物光学系、リレー光学系及び接眼光学系で構成される本発明による硬性鏡光学系は、リレー光学系以外に空気と接する負の屈折力の屈折面を( $N+4$ )面以上配置することによって、接眼光学系によって拡大された虚像における像面湾曲を良好に補正している。ここで、 $N$ はリレー光学系のリレー回数である。この空気と接する負の屈折力の屈折面の数が少ないと、像面湾曲以外の収差とのバランスをとりながらリレー光学系で発生する負の像面湾曲を十分に補正することができない。

#### 【0019】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の硬性鏡光学系の実施例1～5を説明する。各実施例の数値データは後記するが、実施例1の硬性鏡光学系は、図1に光軸を含む断面を分割して示す構成を有しており、挿入部先端側から順に、対物光学系1とリレー光学系2とから構成されている。リレー光学系2は、像を1回リレーする1回のリレー光学系3を2個接続した構成で、これによって像を2回リレーする。対物光学系1は、リレー光学系2で発生した負の像面湾曲を補正するために、空気と接する負の屈折力の屈折面を4面有している。そのため、対物光学系1単独では正の像面湾曲を発生しており、結果として、硬性鏡光学系全体で像面湾曲が発生しないようになっている。実施例1の収差状況を図6に示す。この収差図中、SAは球面収差、FCは像面湾曲、COはコマ収差、DTは歪曲収差を表し、NA'は像側開口数を、IHは像高を表す。以下、同様。この収差図から、像面湾曲等の諸収差が良好に補正されていることが分かる。この実施例では、対物光学系1の第4面に非球面を用いて負の歪曲収差を補正しており、これによって視野周辺まで歪みの少ない像が得られている。

【0020】実施例2の硬性鏡光学系は、図2に光軸を含む断面を分割して示す構成を有しており、挿入部先端側から順に、対物光学系1とリレー光学系2とから構成されている。リレー光学系2は像を1回リレーする。対物光学系1は、リレー光学系2で発生した負の像面湾曲を補正するために、空気と接する負の屈折力の屈折面を3面有している。そのため、対物光学系1単独では正の像面湾曲を発生しており、結果として、硬性鏡光学系全体で像面湾曲が発生しないようになっている。実施例2の収差状況を図7に示す。像面湾曲等の諸収差が良好に補正されていることが分かる。ただし、この実施例では、歪曲収差を補正していないため、歪曲収差は実施例1と比べて大きく発生している。

【0021】実施例3の硬性鏡光学系は、図3に光軸を含む断面を分割して示す構成を有しており、挿入部先端側から順に、対物光学系1とリレー光学系2とから構成されている。リレー光学系2は、像を1回リレーする1回のリレー光学系3を3個接続した構成で、これによって像を3回リレーする。対物光学系1はリレー光学系2で発生した負の像面湾曲を補正するために、空気と接する負の屈折力の屈折面を6面有している。そのため、対物光学系1単独では正の像面湾曲を発生しており、結果として、硬性鏡光学系全体で像面湾曲が発生しないようになっている。実施例3の収差状況を図8に示す。像面湾曲等の諸収差が良好に補正されていることが分かる。この実施例でも、歪曲収差を補正していないため、歪曲収差は実施例1と比べて大きく発生している。

【0022】実施例4の硬性鏡光学系は、図4に光軸を含む断面を分割して示す構成を有しており、挿入部先端側から順に、対物光学系1、リレー光学系2、接眼光学系4から構成されている。対物光学系1及びリレー光学系2は、実施例1の硬性鏡光学系と同一である。本実施例のリレー光学系2を除く観察光学系は、リレー光学系2で発生した負の像面湾曲を補正するために、空気と接する負の屈折力の屈折面を6面有している。それによって接眼光学系4で拡大された虚像における像面湾曲を良好に補正している。

【0023】実施例5の硬性鏡光学系は、図5に光軸を含む断面を分割して示す構成を有しており、挿入部先端側から順に、対物光学系1、リレー光学系2、像反転光学系5から構成されており、対物光学系1及びリレー光学系2は挿入部6内に配置されており、像反転光学系5は挿入部外に配置されている。対物光学系1及びリレー光学系2は実施例1の硬性鏡光学系と同一である。

【0024】この実施例5は以下に示す実施例1の問題点を解決したものである。実施例1の硬性鏡光学系は、リレー回数が2回と偶数回であるため、最終像が反転しており、他の一般の硬性鏡光学系と互換性が悪いという問題点がある。しかし、反転している像をもう一度反転するために、実施例1で用いている1回のリレー光学系3をもう1つ接続すると、さらに負の像面湾曲が発生し、実施例1の対物光学系1の構成ではリレー光学系2で発生する負の像面湾曲を補正し切れない。そこで、諸収差の発生をできる限り抑えて、単に像の向きだけを反転するような像反転光学系5を接続することによって上記の問題点を解決している。具体的には、考慮した諸収差はザイデルの5収差に加えて軸上と倍率の色収差であり、その全てを1回のリレー光学系3で発生している収差量の30%以下に抑えている。そのため、像反転光学系5は、1回のリレー光学系3と比較して、レンズ枚数の多い複雑な構成となっている。

【0025】ここで、像反転光学系5は、内部での光線高が大きくなっているため、光線がケラれないようにす

るためには、レンズ外径を大きくする必要がある。そのため、本実施例では、像反転光学系5のレンズ外径を対物光学系1及びリレー光学系2のレンズ外径に比べて大きくしている。一方、硬性鏡の挿入部6はできるだけ細い方が好ましいため、本実施例では、像反転光学系5を挿入部6以外に配置することによって、挿入部6を必要以上に太くしないと共に、像反転光学系5内での光線のケラレを防止している。

【0026】以下に、上記実施例1～5の数値データを示すが、 $r_1$ 、 $r_2$ …は挿入部先端側から順に数えたレンズ面の曲率半径、 $d_1$ 、 $d_2$ …は同様なレンズ面間の

物体距離=60mm、画角=84.20°、像高=3.5mm、

最終像軸上像側開口数=0.133

|                      |                    |                     |                     |
|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| $r_1 = \infty$       | $d_1 = 0.7000$     | $n_{d1} = 1.76820$  | $\nu_{d1} = 71.79$  |
| $r_2 = \infty$       | $d_2 = 0.3500$     | $n_{d2} = 1.78472$  | $\nu_{d2} = 25.76$  |
| $r_3 = \infty$       | $d_3 = 0.5000$     | $n_{d3} = 1.88300$  | $\nu_{d3} = 40.78$  |
| $r_4 = 3.2719$ (非球面) | $d_4 = 1.6000$     | $n_{d4} = 1.88300$  | $\nu_{d4} = 40.78$  |
| $r_5 = \infty$       | $d_5 = 19.2388$    | $n_{d5} = 1.48749$  | $\nu_{d5} = 70.21$  |
| $r_6 = \infty$ (絞り)  | $d_6 = 2.3312$     | $n_{d6} = 1.80440$  | $\nu_{d6} = 39.58$  |
| $r_7 = \infty$       | $d_7 = 2.0000$     | $n_{d7} = 1.72916$  | $\nu_{d7} = 54.68$  |
| $r_8 = 10.4840$      | $d_8 = 1.2900$     | $n_{d8} = 1.77250$  | $\nu_{d8} = 49.60$  |
| $r_9 = 21.0720$      | $d_9 = 5.9300$     | $n_{d9} = 1.84666$  | $\nu_{d9} = 23.78$  |
| $r_{10} = -23.7790$  | $d_{10} = 0.5000$  | $n_{d10} = 1.84666$ | $\nu_{d10} = 23.78$ |
| $r_{11} = 28.9610$   | $d_{11} = 7.4500$  | $n_{d11} = 1.72916$ | $\nu_{d11} = 54.68$ |
| $r_{12} = -22.5740$  | $d_{12} = 0.5000$  | $n_{d12} = 1.80440$ | $\nu_{d12} = 39.58$ |
| $r_{13} = 16.9530$   | $d_{13} = 4.2300$  | $n_{d13} = 1.69680$ | $\nu_{d13} = 55.53$ |
| $r_{14} = 79.4570$   | $d_{14} = 1.5000$  | $n_{d14} = 1.69680$ | $\nu_{d14} = 55.53$ |
| $r_{15} = 8.1920$    | $d_{15} = 4.3100$  | $n_{d15} = 1.72916$ | $\nu_{d15} = 54.68$ |
| $r_{16} = 11.0310$   | $d_{16} = 2.9100$  | $n_{d16} = 1.58313$ | $\nu_{d16} = 59.38$ |
| $r_{17} = 79.4570$   | $d_{17} = 1.5000$  | $n_{d17} = 1.88300$ | $\nu_{d17} = 40.78$ |
| $r_{18} = 6.4000$    | $d_{18} = 1.9900$  | $n_{d18} = 1.58313$ | $\nu_{d18} = 59.38$ |
| $r_{19} = 12.3610$   | $d_{19} = 8.5200$  | $n_{d19} = 1.51742$ | $\nu_{d19} = 52.42$ |
| $r_{20} = -5.2300$   | $d_{20} = 1.5000$  | $n_{d20} = 1.51742$ | $\nu_{d20} = 52.42$ |
| $r_{21} = -24.0550$  | $d_{21} = 4.9900$  | $n_{d21} = 1.58313$ | $\nu_{d21} = 59.38$ |
| $r_{22} = \infty$    | $d_{22} = 5.0300$  | $n_{d22} = 1.88300$ | $\nu_{d22} = 40.78$ |
| $r_{23} = 27.9810$   | $d_{23} = 3.9600$  | $n_{d23} = 1.88300$ | $\nu_{d23} = 40.78$ |
| $r_{24} = \infty$    | $d_{24} = 42.0400$ | $n_{d24} = 1.69680$ | $\nu_{d24} = 55.53$ |
| $r_{25} = \infty$    | $d_{25} = 6.6600$  | $n_{d25} = 1.69680$ | $\nu_{d25} = 55.53$ |
| $r_{26} = -10.5000$  | $d_{26} = 1.5000$  | $n_{d26} = 1.58313$ | $\nu_{d26} = 59.38$ |
| $r_{27} = -25.5920$  | $d_{27} = 0.8000$  | $n_{d27} = 1.58313$ | $\nu_{d27} = 59.38$ |
| $r_{28} = 27.6560$   | $d_{28} = 10.0000$ | $n_{d28} = 1.51742$ | $\nu_{d28} = 52.42$ |
| $r_{29} = \infty$    | $d_{29} = 10.0000$ | $n_{d29} = 1.51742$ | $\nu_{d29} = 52.42$ |
| $r_{30} = -27.6560$  | $d_{30} = 0.8000$  | $n_{d30} = 1.58313$ | $\nu_{d30} = 59.38$ |
| $r_{31} = 25.5920$   | $d_{31} = 1.5000$  | $n_{d31} = 1.58313$ | $\nu_{d31} = 59.38$ |
| $r_{32} = 10.5000$   | $d_{32} = 6.6600$  | $n_{d32} = 1.51742$ | $\nu_{d32} = 52.42$ |
| $r_{33} = \infty$    | $d_{33} = 42.0400$ | $n_{d33} = 1.51742$ | $\nu_{d33} = 52.42$ |
| $r_{34} = \infty$    | $d_{34} = 3.9600$  | $n_{d34} = 1.58313$ | $\nu_{d34} = 59.38$ |
| $r_{35} = -27.9810$  | $d_{35} = 5.0300$  | $n_{d35} = 1.58313$ | $\nu_{d35} = 59.38$ |
| $r_{36} = \infty$    | $d_{36} = 5.0300$  | $n_{d36} = 1.51742$ | $\nu_{d36} = 52.42$ |
| $r_{37} = 27.9810$   | $d_{37} = 3.9600$  | $n_{d37} = 1.51742$ | $\nu_{d37} = 52.42$ |

間隔、 $n_{d1}$ 、 $n_{d2}$ …は同様なレンズのd線の屈折率、 $\nu_{d1}$ 、 $\nu_{d2}$ …は同様なレンズのアベ数である。なお、両側から空気間隔で挟まれる曲率半径が無限大( $\infty$ )の面は開口あるいは仮想面を示す。また、非球面形状は、光軸の光の進行方向をx、光軸に直交する方向をyとしたとき、次の式で表される。

$$x = (y^2 / r) / [1 + \{1 - P(y/r)^2\}^{1/2}] + A_4 y^4 + A_6 y^6 + A_8 y^8$$

ただし、rは近軸曲率半径、Pは円錐係数、 $A_4$ 、 $A_6$ 、 $A_8$ は非球面係数である。

【0027】実施例1

|                     |                    |                                       |
|---------------------|--------------------|---------------------------------------|
| $r_{38} = \infty$   | $d_{38} = 42.0400$ | $n_{d25} = 1.72916 \nu_{d25} = 54.68$ |
| $r_{39} = \infty$   | $d_{39} = 6.6600$  | $n_{d26} = 1.58313 \nu_{d26} = 59.38$ |
| $r_{40} = -10.5000$ | $d_{40} = 1.5000$  | $n_{d27} = 1.88300 \nu_{d27} = 40.78$ |
| $r_{41} = -25.5920$ | $d_{41} = 0.8000$  |                                       |
| $r_{42} = 27.6560$  | $d_{42} = 10.0000$ | $n_{d28} = 1.51742 \nu_{d28} = 52.42$ |
| $r_{43} = \infty$   | $d_{43} = 10.0000$ | $n_{d29} = 1.51742 \nu_{d29} = 52.42$ |
| $r_{44} = -27.6560$ | $d_{44} = 0.8000$  |                                       |
| $r_{45} = 25.5920$  | $d_{45} = 1.5000$  | $n_{d30} = 1.88300 \nu_{d30} = 40.78$ |
| $r_{46} = 10.5000$  | $d_{46} = 6.6600$  | $n_{d31} = 1.58313 \nu_{d31} = 59.38$ |
| $r_{47} = \infty$   | $d_{47} = 42.0400$ | $n_{d32} = 1.72916 \nu_{d32} = 54.68$ |
| $r_{48} = \infty$   | $d_{48} = 3.9600$  | $n_{d33} = 1.69680 \nu_{d33} = 55.53$ |
| $r_{49} = -27.9810$ |                    |                                       |

## 非球面係数

## 第4面

$$\begin{aligned}
 P &= -0.677 \times 10^{-1} \\
 A_4 &= 2.4683 \times 10^{-4} \\
 A_6 &= -6.3235 \times 10^{-5} \\
 A_8 &= 3.2907 \times 10^{-6} \\
 &\quad \ddots
 \end{aligned}$$

## 【0028】実施例2

物体距離=60mm, 画角=84.47°, 像高=3.5mm,

最終像軸上像側開口数=0.067

|                     |                    |                                       |
|---------------------|--------------------|---------------------------------------|
| $r_1 = \infty$      | $d_1 = 0.7000$     | $n_{d1} = 1.76820 \nu_{d1} = 71.79$   |
| $r_2 = \infty$      | $d_2 = 0.3500$     |                                       |
| $r_3 = \infty$      | $d_3 = 0.5000$     | $n_{d2} = 1.78590 \nu_{d2} = 44.19$   |
| $r_4 = 4.5379$      | $d_4 = 1.6000$     |                                       |
| $r_5 = \infty$      | $d_5 = 19.7503$    | $n_{d3} = 1.88300 \nu_{d3} = 40.78$   |
| $r_6 = \infty$ (絞り) | $d_6 = 1.8196$     | $n_{d4} = 1.88300 \nu_{d4} = 40.78$   |
| $r_7 = \infty$      | $d_7 = 3.5525$     | $n_{d5} = 1.88300 \nu_{d5} = 40.78$   |
| $r_8 = -13.8871$    | $d_8 = 0.7514$     |                                       |
| $r_9 = 114.6400$    | $d_9 = 11.5647$    | $n_{d6} = 1.78590 \nu_{d6} = 44.19$   |
| $r_{10} = 11.1000$  | $d_{10} = 3.0000$  | $n_{d7} = 1.78472 \nu_{d7} = 25.68$   |
| $r_{11} = 30.0000$  | $d_{11} = 2.0404$  |                                       |
| $r_{12} = 15.1392$  | $d_{12} = 5.0000$  | $n_{d8} = 1.77250 \nu_{d8} = 49.60$   |
| $r_{13} = -6.0553$  | $d_{13} = 1.2429$  | $n_{d9} = 1.84666 \nu_{d9} = 23.78$   |
| $r_{14} = 23.0244$  | $d_{14} = 1.0000$  |                                       |
| $r_{15} = 13.3361$  | $d_{15} = 11.2854$ | $n_{d10} = 1.78590 \nu_{d10} = 44.19$ |
| $r_{16} = 8.8000$   | $d_{16} = 4.5000$  | $n_{d11} = 1.78472 \nu_{d11} = 25.68$ |
| $r_{17} = -88.4674$ | $d_{17} = 5.1828$  |                                       |
| $r_{18} = \infty$   | $d_{18} = 14.6258$ |                                       |
| $r_{19} = 56.6093$  | $d_{19} = 15.4060$ | $n_{d12} = 1.69680 \nu_{d12} = 55.53$ |
| $r_{20} = \infty$   | $d_{20} = 53.2133$ | $n_{d13} = 1.72916 \nu_{d13} = 54.68$ |
| $r_{21} = \infty$   | $d_{21} = 17.7534$ | $n_{d14} = 1.58313 \nu_{d14} = 59.38$ |
| $r_{22} = -20.7718$ | $d_{22} = 8.1740$  | $n_{d15} = 1.83400 \nu_{d15} = 37.17$ |
| $r_{23} = -52.0568$ | $d_{23} = 11.3699$ |                                       |
| $r_{24} = 73.3406$  | $d_{24} = 19.4576$ | $n_{d16} = 1.52249 \nu_{d16} = 59.82$ |
| $r_{25} = \infty$   | $d_{25} = 19.4576$ | $n_{d17} = 1.52249 \nu_{d17} = 59.82$ |
| $r_{26} = -73.3406$ | $d_{26} = 11.3699$ |                                       |
| $r_{27} = 52.0568$  | $d_{27} = 8.1740$  | $n_{d18} = 1.83400 \nu_{d18} = 37.17$ |
| $r_{28} = 20.7718$  | $d_{28} = 17.7534$ | $n_{d19} = 1.58313 \nu_{d19} = 59.38$ |
| $r_{29} = \infty$   | $d_{29} = 53.2133$ | $n_{d20} = 1.72916 \nu_{d20} = 54.68$ |

|                     |                    |                     |                     |
|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| $r_{30} = \infty$   | $d_{30} = 15.4060$ | $n_{d21} = 1.69680$ | $\nu_{d21} = 55.53$ |
| $r_{31} = -56.6093$ |                    |                     | .                   |

## 【0029】実施例3

物体距離 = 70mm, 画角 = 78.86 °, 像高 = 3.5mm,

最終像軸上像側開口数 = 0.094

|                      |                    |                     |                     |
|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| $r_1 = \infty$       | $d_1 = 0.7000$     | $n_{d1} = 1.76820$  | $\nu_{d1} = 71.70$  |
| $r_2 = \infty$       | $d_2 = 0.3500$     |                     |                     |
| $r_3 = \infty$       | $d_3 = 0.5000$     | $n_{d2} = 1.81600$  | $\nu_{d2} = 46.62$  |
| $r_4 = 5.7719$       | $d_4 = 1.6000$     |                     |                     |
| $r_5 = \infty$       | $d_5 = 21.4623$    | $n_{d3} = 1.88300$  | $\nu_{d3} = 40.78$  |
| $r_6 = \infty$ (絞り)  | $d_6 = 0.1077$     | $n_{d4} = 1.88300$  | $\nu_{d4} = 40.78$  |
| $r_7 = \infty$       | $d_7 = 1.1749$     | $n_{d5} = 1.84666$  | $\nu_{d5} = 23.78$  |
| $r_8 = 5.8406$       | $d_8 = 2.4314$     |                     |                     |
| $r_9 = -6.3217$      | $d_9 = 2.3487$     | $n_{d6} = 1.59270$  | $\nu_{d6} = 35.30$  |
| $r_{10} = -404.1064$ | $d_{10} = 3.5137$  | $n_{d7} = 1.79952$  | $\nu_{d7} = 42.24$  |
| $r_{11} = -9.7899$   | $d_{11} = 0.3000$  |                     |                     |
| $r_{12} = 60.8027$   | $d_{12} = 2.1619$  | $n_{d8} = 1.80400$  | $\nu_{d8} = 46.58$  |
| $r_{13} = -9.2000$   | $d_{13} = 2.0000$  | $n_{d9} = 1.80518$  | $\nu_{d9} = 25.43$  |
| $r_{14} = -14.9549$  | $d_{14} = 0.3000$  |                     |                     |
| $r_{15} = 9.4065$    | $d_{15} = 4.7988$  | $n_{d10} = 1.75500$ | $\nu_{d10} = 52.33$ |
| $r_{16} = \infty$    | $d_{16} = 2.3398$  |                     |                     |
| $r_{17} = -14.3671$  | $d_{17} = 2.1920$  | $n_{d11} = 1.84666$ | $\nu_{d11} = 23.78$ |
| $r_{18} = 4.4250$    | $d_{18} = 2.9419$  |                     |                     |
| $r_{19} = \infty$    | $d_{19} = 4.2586$  | $n_{d12} = 1.88300$ | $\nu_{d12} = 40.78$ |
| $r_{20} = -4.8411$   | $d_{20} = 3.0532$  | $n_{d13} = 1.54814$ | $\nu_{d13} = 45.78$ |
| $r_{21} = 9.5195$    | $d_{21} = 5.1304$  |                     |                     |
| $r_{22} = 23.5881$   | $d_{22} = 8.4442$  | $n_{d14} = 1.80400$ | $\nu_{d14} = 46.58$ |
| $r_{23} = -5.3000$   | $d_{23} = 4.6457$  | $n_{d15} = 1.80518$ | $\nu_{d15} = 25.43$ |
| $r_{24} = -51.5269$  | $d_{24} = 4.8906$  |                     |                     |
| $r_{25} = \infty$    | $d_{25} = 5.0300$  |                     |                     |
| $r_{26} = 27.9810$   | $d_{26} = 3.9600$  | $n_{d16} = 1.69680$ | $\nu_{d16} = 55.53$ |
| $r_{27} = \infty$    | $d_{27} = 42.0400$ | $n_{d17} = 1.72916$ | $\nu_{d17} = 54.68$ |
| $r_{28} = \infty$    | $d_{28} = 6.6600$  | $n_{d18} = 1.58313$ | $\nu_{d18} = 59.38$ |
| $r_{29} = -10.5000$  | $d_{29} = 1.5000$  | $n_{d19} = 1.88300$ | $\nu_{d19} = 40.78$ |
| $r_{30} = -25.5920$  | $d_{30} = 0.8000$  |                     |                     |
| $r_{31} = 27.6560$   | $d_{31} = 10.0000$ | $n_{d20} = 1.51742$ | $\nu_{d20} = 52.42$ |
| $r_{32} = \infty$    | $d_{32} = 10.0000$ | $n_{d21} = 1.51742$ | $\nu_{d21} = 52.42$ |
| $r_{33} = -27.6560$  | $d_{33} = 0.8000$  |                     |                     |
| $r_{34} = 25.5920$   | $d_{34} = 1.5000$  | $n_{d22} = 1.88300$ | $\nu_{d22} = 40.78$ |
| $r_{35} = 10.5000$   | $d_{35} = 6.6600$  | $n_{d23} = 1.58313$ | $\nu_{d23} = 59.38$ |
| $r_{36} = \infty$    | $d_{36} = 42.0400$ | $n_{d24} = 1.72916$ | $\nu_{d24} = 54.68$ |
| $r_{37} = \infty$    | $d_{37} = 3.9600$  | $n_{d25} = 1.69680$ | $\nu_{d25} = 55.53$ |
| $r_{38} = -27.9810$  | $d_{38} = 5.0300$  |                     |                     |
| $r_{39} = \infty$    | $d_{39} = 5.0300$  |                     |                     |
| $r_{40} = 27.9810$   | $d_{40} = 3.9600$  | $n_{d26} = 1.69680$ | $\nu_{d26} = 55.53$ |
| $r_{41} = \infty$    | $d_{41} = 42.0400$ | $n_{d27} = 1.72916$ | $\nu_{d27} = 54.68$ |
| $r_{42} = \infty$    | $d_{42} = 6.6600$  | $n_{d28} = 1.58313$ | $\nu_{d28} = 59.38$ |
| $r_{43} = -10.5000$  | $d_{43} = 1.5000$  | $n_{d29} = 1.88300$ | $\nu_{d29} = 40.78$ |
| $r_{44} = -25.5920$  | $d_{44} = 0.8000$  |                     |                     |
| $r_{45} = 27.6560$   | $d_{45} = 10.0000$ | $n_{d30} = 1.51742$ | $\nu_{d30} = 52.42$ |

|                     |                    |                                       |
|---------------------|--------------------|---------------------------------------|
| $r_{46} = \infty$   | $d_{46} = 10.0000$ | $n_{d31} = 1.51742 \nu_{d31} = 52.42$ |
| $r_{47} = -27.6560$ | $d_{47} = 0.8000$  | $n_{d32} = 1.88300 \nu_{d32} = 40.78$ |
| $r_{48} = 25.5920$  | $d_{48} = 1.5000$  | $n_{d33} = 1.58313 \nu_{d33} = 59.38$ |
| $r_{49} = 10.5000$  | $d_{49} = 6.6600$  | $n_{d34} = 1.72916 \nu_{d34} = 54.68$ |
| $r_{50} = \infty$   | $d_{50} = 42.0400$ | $n_{d35} = 1.69680 \nu_{d35} = 55.53$ |
| $r_{51} = \infty$   | $d_{51} = 3.9600$  | $n_{d36} = 1.69680 \nu_{d36} = 55.53$ |
| $r_{52} = -27.9810$ | $d_{52} = 5.0300$  | $n_{d37} = 1.72916 \nu_{d37} = 54.68$ |
| $r_{53} = \infty$   | $d_{53} = 5.0300$  | $n_{d38} = 1.58313 \nu_{d38} = 59.38$ |
| $r_{54} = 27.9810$  | $d_{54} = 3.9600$  | $n_{d39} = 1.88300 \nu_{d39} = 40.78$ |
| $r_{55} = \infty$   | $d_{55} = 42.0400$ | $n_{d40} = 1.51742 \nu_{d40} = 52.42$ |
| $r_{56} = \infty$   | $d_{56} = 6.6600$  | $n_{d41} = 1.51742 \nu_{d41} = 52.42$ |
| $r_{57} = -10.5000$ | $d_{57} = 1.5000$  | $n_{d42} = 1.88300 \nu_{d42} = 40.78$ |
| $r_{58} = -25.5920$ | $d_{58} = 0.8000$  | $n_{d43} = 1.58313 \nu_{d43} = 59.38$ |
| $r_{59} = 27.6560$  | $d_{59} = 10.0000$ | $n_{d44} = 1.72916 \nu_{d44} = 54.68$ |
| $r_{60} = \infty$   | $d_{60} = 10.0000$ | $n_{d45} = 1.69680 \nu_{d45} = 55.53$ |
| $r_{61} = -27.6560$ | $d_{61} = 0.8000$  | $\dots$                               |
| $r_{62} = 25.5920$  | $d_{62} = 1.5000$  |                                       |
| $r_{63} = 10.5000$  | $d_{63} = 6.6600$  |                                       |
| $r_{64} = \infty$   | $d_{64} = 42.0400$ |                                       |
| $r_{65} = \infty$   | $d_{65} = 3.9600$  |                                       |
| $r_{66} = -27.9810$ |                    |                                       |

## 【0030】実施例4

物体距離=60mm, 画角=84.20°, 像高=3.5mm,

リレー光学系の最終像軸上像側開口数=0.133,

接眼光学系焦点距離=28.478mm

|                      |                    |                                       |
|----------------------|--------------------|---------------------------------------|
| $r_1 = \infty$       | $d_1 = 0.7000$     | $n_{d1} = 1.76820 \nu_{d1} = 71.79$   |
| $r_2 = \infty$       | $d_2 = 0.3500$     | $n_{d2} = 1.78472 \nu_{d2} = 25.76$   |
| $r_3 = \infty$       | $d_3 = 0.5000$     | $n_{d3} = 1.88300 \nu_{d3} = 40.78$   |
| $r_4 = 3.2719$ (非球面) | $d_4 = 1.6000$     | $n_{d4} = 1.88300 \nu_{d4} = 40.78$   |
| $r_5 = \infty$       | $d_5 = 19.2388$    | $n_{d5} = 1.88300 \nu_{d5} = 40.78$   |
| $r_6 = \infty$ (絞り)  | $d_6 = 2.3312$     | $n_{d6} = 1.84666 \nu_{d6} = 23.78$   |
| $r_7 = \infty$       | $d_7 = 2.0000$     | $n_{d7} = 1.48749 \nu_{d7} = 70.21$   |
| $r_8 = 10.4840$      | $d_8 = 1.2900$     | $n_{d8} = 1.80440 \nu_{d8} = 39.58$   |
| $r_9 = 21.0720$      | $d_9 = 5.9300$     | $n_{d9} = 1.72916 \nu_{d9} = 54.68$   |
| $r_{10} = -23.7790$  | $d_{10} = 0.5000$  | $n_{d10} = 1.77250 \nu_{d10} = 49.60$ |
| $r_{11} = 28.9610$   | $d_{11} = 7.4500$  | $n_{d11} = 1.84666 \nu_{d11} = 23.78$ |
| $r_{12} = -22.5740$  | $d_{12} = 0.5000$  | $n_{d12} = 1.77250 \nu_{d12} = 49.60$ |
| $r_{13} = 16.9530$   | $d_{13} = 4.2300$  | $n_{d13} = 1.84666 \nu_{d13} = 23.78$ |
| $r_{14} = 79.4570$   | $d_{14} = 1.5000$  | $n_{d14} = 1.77250 \nu_{d14} = 49.60$ |
| $r_{15} = 8.1920$    | $d_{15} = 4.3100$  | $n_{d15} = 1.84666 \nu_{d15} = 23.78$ |
| $r_{16} = 11.0310$   | $d_{16} = 2.9100$  | $n_{d16} = 1.84666 \nu_{d16} = 23.78$ |
| $r_{17} = 79.4570$   | $d_{17} = 1.5000$  | $n_{d17} = 1.84666 \nu_{d17} = 23.78$ |
| $r_{18} = 6.4000$    | $d_{18} = 1.9900$  | $n_{d18} = 1.84666 \nu_{d18} = 23.78$ |
| $r_{19} = 12.3610$   | $d_{19} = 8.5200$  | $n_{d19} = 1.84666 \nu_{d19} = 23.78$ |
| $r_{20} = -5.2300$   | $d_{20} = 1.5000$  | $n_{d20} = 1.84666 \nu_{d20} = 23.78$ |
| $r_{21} = -24.0550$  | $d_{21} = 4.9900$  | $n_{d21} = 1.84666 \nu_{d21} = 23.78$ |
| $r_{22} = \infty$    | $d_{22} = 5.0300$  | $n_{d22} = 1.84666 \nu_{d22} = 23.78$ |
| $r_{23} = 27.9810$   | $d_{23} = 3.9600$  | $n_{d23} = 1.69680 \nu_{d23} = 55.53$ |
| $r_{24} = \infty$    | $d_{24} = 42.0400$ | $n_{d24} = 1.72916 \nu_{d24} = 54.68$ |
| $r_{25} = \infty$    | $d_{25} = 6.6600$  | $n_{d25} = 1.58313 \nu_{d25} = 59.38$ |

|                     |                    |                                       |
|---------------------|--------------------|---------------------------------------|
| $r_{26} = -10.5000$ | $d_{26} = 1.5000$  | $n_{d17} = 1.88300 \nu_{d17} = 40.78$ |
| $r_{27} = -25.5920$ | $d_{27} = 0.8000$  |                                       |
| $r_{28} = 27.6560$  | $d_{28} = 10.0000$ | $n_{d18} = 1.51742 \nu_{d18} = 52.42$ |
| $r_{29} = \infty$   | $d_{29} = 10.0000$ | $n_{d19} = 1.51742 \nu_{d19} = 52.42$ |
| $r_{30} = -27.6560$ | $d_{30} = 0.8000$  |                                       |
| $r_{31} = 25.5920$  | $d_{31} = 1.5000$  | $n_{d20} = 1.88300 \nu_{d20} = 40.78$ |
| $r_{32} = 10.5000$  | $d_{32} = 6.6600$  | $n_{d21} = 1.58313 \nu_{d21} = 59.38$ |
| $r_{33} = \infty$   | $d_{33} = 42.0400$ | $n_{d22} = 1.72916 \nu_{d22} = 54.68$ |
| $r_{34} = \infty$   | $d_{34} = 3.9600$  | $n_{d23} = 1.69680 \nu_{d23} = 55.53$ |
| $r_{35} = -27.9810$ | $d_{35} = 5.0300$  |                                       |
| $r_{36} = \infty$   | $d_{36} = 5.0300$  |                                       |
| $r_{37} = 27.9810$  | $d_{37} = 3.9600$  | $n_{d24} = 1.69680 \nu_{d24} = 55.53$ |
| $r_{38} = \infty$   | $d_{38} = 42.0400$ | $n_{d25} = 1.72916 \nu_{d25} = 54.68$ |
| $r_{39} = \infty$   | $d_{39} = 6.6600$  | $n_{d26} = 1.58313 \nu_{d26} = 59.38$ |
| $r_{40} = -10.5000$ | $d_{40} = 1.5000$  | $n_{d27} = 1.88300 \nu_{d27} = 40.78$ |
| $r_{41} = -25.5920$ | $d_{41} = 0.8000$  |                                       |
| $r_{42} = 27.6560$  | $d_{42} = 10.0000$ | $n_{d28} = 1.51742 \nu_{d28} = 52.42$ |
| $r_{43} = \infty$   | $d_{43} = 10.0000$ | $n_{d29} = 1.51742 \nu_{d29} = 52.42$ |
| $r_{44} = -27.6560$ | $d_{44} = 0.8000$  |                                       |
| $r_{45} = 25.5920$  | $d_{45} = 1.5000$  | $n_{d30} = 1.88300 \nu_{d30} = 40.78$ |
| $r_{46} = 10.5000$  | $d_{46} = 6.6600$  | $n_{d31} = 1.58313 \nu_{d31} = 59.38$ |
| $r_{47} = \infty$   | $d_{47} = 42.0400$ | $n_{d32} = 1.72916 \nu_{d32} = 54.68$ |
| $r_{48} = \infty$   | $d_{48} = 3.9600$  | $n_{d33} = 1.69680 \nu_{d33} = 55.53$ |
| $r_{49} = -27.9810$ | $d_{49} = 5.0300$  |                                       |
| $r_{50} = \infty$   | $d_{50} = 8.4000$  |                                       |
| $r_{51} = \infty$   | $d_{51} = 4.0000$  | $n_{d34} = 1.72916 \nu_{d34} = 54.68$ |
| $r_{52} = -21.2750$ | $d_{52} = 0.3000$  |                                       |
| $r_{53} = 20.5810$  | $d_{53} = 4.7100$  | $n_{d35} = 1.72916 \nu_{d35} = 54.68$ |
| $r_{54} = \infty$   | $d_{54} = 2.5000$  | $n_{d36} = 1.51633 \nu_{d36} = 64.15$ |
| $r_{55} = 11.8670$  | $d_{55} = 3.8800$  |                                       |
| $r_{56} = -7.0240$  | $d_{56} = 2.5000$  | $n_{d37} = 1.76182 \nu_{d37} = 26.52$ |
| $r_{57} = \infty$   | $d_{57} = 5.7000$  | $n_{d38} = 1.72916 \nu_{d38} = 54.68$ |
| $r_{58} = -11.8360$ | $d_{58} = 0.3000$  |                                       |
| $r_{59} = \infty$   | $d_{59} = 3.5000$  | $n_{d39} = 1.77250 \nu_{d39} = 49.60$ |
| $r_{60} = -28.7500$ | $d_{60} = 6.0000$  |                                       |
| $r_{61} = \infty$   | $d_{61} = 3.0000$  | $n_{d40} = 1.76820 \nu_{d40} = 71.70$ |
| $r_{62} = \infty$   |                    |                                       |

## 非球面係数

## 第4面

$$P = -0.677 \times 10^{-1}$$

$$A_4 = 2.4683 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = -6.3235 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = 3.2907 \times 10^{-6}$$

。

## 実施例5

物体距離=60mm, 画角=84.20°, 像高=3.5mm,

リレー光学系の最終像軸上像側開口数=0.133,

最終像(像反転光学系通過後)軸上像側開口数=0.133

|                |                |                                     |
|----------------|----------------|-------------------------------------|
| $r_1 = \infty$ | $d_1 = 0.7000$ | $n_{d1} = 1.76820 \nu_{d1} = 71.79$ |
| $r_2 = \infty$ | $d_2 = 0.3500$ |                                     |
| $r_3 = \infty$ | $d_3 = 0.5000$ | $n_{d2} = 1.78472 \nu_{d2} = 25.76$ |

【0031】

|            |               |            |         |                                       |
|------------|---------------|------------|---------|---------------------------------------|
| $r_4 =$    | 3.2719 (非球面)  | $d_4 =$    | 1.6000  |                                       |
| $r_5 =$    | $\infty$      | $d_5 =$    | 19.2388 | $n_{d3} = 1.88300 \nu_{d3} = 40.78$   |
| $r_6 =$    | $\infty$ (絞り) | $d_6 =$    | 2.3312  | $n_{d4} = 1.88300 \nu_{d4} = 40.78$   |
| $r_7 =$    | $\infty$      | $d_7 =$    | 2.0000  | $n_{d5} = 1.48749 \nu_{d5} = 70.21$   |
| $r_8 =$    | 10.4840       | $d_8 =$    | 1.2900  |                                       |
| $r_9 =$    | 21.0720       | $d_9 =$    | 5.9300  | $n_{d6} = 1.80440 \nu_{d6} = 39.58$   |
| $r_{10} =$ | -23.7790      | $d_{10} =$ | 0.5000  |                                       |
| $r_{11} =$ | 28.9610       | $d_{11} =$ | 7.4500  | $n_{d7} = 1.72916 \nu_{d7} = 54.68$   |
| $r_{12} =$ | -22.5740      | $d_{12} =$ | 0.5000  |                                       |
| $r_{13} =$ | 16.9530       | $d_{13} =$ | 4.2300  | $n_{d8} = 1.77250 \nu_{d8} = 49.60$   |
| $r_{14} =$ | 79.4570       | $d_{14} =$ | 1.5000  | $n_{d9} = 1.84666 \nu_{d9} = 23.78$   |
| $r_{15} =$ | 8.1920        | $d_{15} =$ | 4.3100  |                                       |
| $r_{16} =$ | 11.0310       | $d_{16} =$ | 2.9100  | $n_{d10} = 1.77250 \nu_{d10} = 49.60$ |
| $r_{17} =$ | 79.4570       | $d_{17} =$ | 1.5000  | $n_{d11} = 1.84666 \nu_{d11} = 23.78$ |
| $r_{18} =$ | 6.4000        | $d_{18} =$ | 1.9900  |                                       |
| $r_{19} =$ | 12.3610       | $d_{19} =$ | 8.5200  | $n_{d12} = 1.81600 \nu_{d12} = 46.62$ |
| $r_{20} =$ | -5.2300       | $d_{20} =$ | 1.5000  | $n_{d13} = 1.84666 \nu_{d13} = 23.78$ |
| $r_{21} =$ | -24.0550      | $d_{21} =$ | 4.9900  |                                       |
| $r_{22} =$ | $\infty$      | $d_{22} =$ | 5.0300  |                                       |
| $r_{23} =$ | 27.9810       | $d_{23} =$ | 3.9600  | $n_{d14} = 1.69680 \nu_{d14} = 55.53$ |
| $r_{24} =$ | $\infty$      | $d_{24} =$ | 42.0400 | $n_{d15} = 1.72916 \nu_{d15} = 54.68$ |
| $r_{25} =$ | $\infty$      | $d_{25} =$ | 6.6600  | $n_{d16} = 1.58313 \nu_{d16} = 59.38$ |
| $r_{26} =$ | -10.5000      | $d_{26} =$ | 1.5000  | $n_{d17} = 1.88300 \nu_{d17} = 40.78$ |
| $r_{27} =$ | -25.5920      | $d_{27} =$ | 0.8000  |                                       |
| $r_{28} =$ | 27.6560       | $d_{28} =$ | 10.0000 | $n_{d18} = 1.51742 \nu_{d18} = 52.42$ |
| $r_{29} =$ | $\infty$      | $d_{29} =$ | 10.0000 | $n_{d19} = 1.51742 \nu_{d19} = 52.42$ |
| $r_{30} =$ | -27.6560      | $d_{30} =$ | 0.8000  |                                       |
| $r_{31} =$ | 25.5920       | $d_{31} =$ | 1.5000  | $n_{d20} = 1.88300 \nu_{d20} = 40.78$ |
| $r_{32} =$ | 10.5000       | $d_{32} =$ | 6.6600  | $n_{d21} = 1.58313 \nu_{d21} = 59.38$ |
| $r_{33} =$ | $\infty$      | $d_{33} =$ | 42.0400 | $n_{d22} = 1.72916 \nu_{d22} = 54.68$ |
| $r_{34} =$ | $\infty$      | $d_{34} =$ | 3.9600  | $n_{d23} = 1.69680 \nu_{d23} = 55.53$ |
| $r_{35} =$ | -27.9810      | $d_{35} =$ | 5.0300  |                                       |
| $r_{36} =$ | $\infty$      | $d_{36} =$ | 5.0300  |                                       |
| $r_{37} =$ | 27.9810       | $d_{37} =$ | 3.9600  | $n_{d24} = 1.69680 \nu_{d24} = 55.53$ |
| $r_{38} =$ | $\infty$      | $d_{38} =$ | 42.0400 | $n_{d25} = 1.72916 \nu_{d25} = 54.68$ |
| $r_{39} =$ | $\infty$      | $d_{39} =$ | 6.6600  | $n_{d26} = 1.58313 \nu_{d26} = 59.38$ |
| $r_{40} =$ | -10.5000      | $d_{40} =$ | 1.5000  | $n_{d27} = 1.88300 \nu_{d27} = 40.78$ |
| $r_{41} =$ | -25.5920      | $d_{41} =$ | 0.8000  |                                       |
| $r_{42} =$ | 27.6560       | $d_{42} =$ | 10.0000 | $n_{d28} = 1.51742 \nu_{d28} = 52.42$ |
| $r_{43} =$ | $\infty$      | $d_{43} =$ | 10.0000 | $n_{d29} = 1.51742 \nu_{d29} = 52.42$ |
| $r_{44} =$ | -27.6560      | $d_{44} =$ | 0.8000  |                                       |
| $r_{45} =$ | 25.5920       | $d_{45} =$ | 1.5000  | $n_{d30} = 1.88300 \nu_{d30} = 40.78$ |
| $r_{46} =$ | 10.5000       | $d_{46} =$ | 6.6600  | $n_{d31} = 1.58313 \nu_{d31} = 59.38$ |
| $r_{47} =$ | $\infty$      | $d_{47} =$ | 42.0400 | $n_{d32} = 1.72916 \nu_{d32} = 54.68$ |
| $r_{48} =$ | $\infty$      | $d_{48} =$ | 3.9600  | $n_{d33} = 1.69680 \nu_{d33} = 55.53$ |
| $r_{49} =$ | -27.9810      | $d_{49} =$ | 5.0300  |                                       |
| $r_{50} =$ | $\infty$      | $d_{50} =$ | 5.0000  |                                       |
| $r_{51} =$ | 55.6570       | $d_{51} =$ | 4.5000  | $n_{d34} = 1.83481 \nu_{d34} = 42.72$ |
| $r_{52} =$ | -16.5080      | $d_{52} =$ | 3.1800  |                                       |
| $r_{53} =$ | 18.9300       | $d_{53} =$ | 3.0000  | $n_{d35} = 1.58144 \nu_{d35} = 40.77$ |

|           |          |           |                                   |
|-----------|----------|-----------|-----------------------------------|
| $r_{54}=$ | 7.2040   | $d_{54}=$ | 7.8300                            |
| $r_{55}=$ | -7.2040  | $d_{55}=$ | 2.5000                            |
| $r_{56}=$ | $\infty$ | $d_{56}=$ | 4.7900                            |
| $r_{57}=$ | -11.9640 | $d_{57}=$ | 0.5000                            |
| $r_{58}=$ | $\infty$ | $d_{58}=$ | 3.2000                            |
| $r_{59}=$ | -22.7570 | $d_{59}=$ | 0.5000                            |
| $r_{60}=$ | $\infty$ | $d_{60}=$ | 0.5000                            |
| $r_{61}=$ | 22.7570  | $d_{61}=$ | 3.2000                            |
| $r_{62}=$ | $\infty$ | $d_{62}=$ | 0.5000                            |
| $r_{63}=$ | 11.9640  | $d_{63}=$ | 4.7900                            |
| $r_{64}=$ | $\infty$ | $d_{64}=$ | 2.5000                            |
| $r_{65}=$ | 7.2040   | $d_{65}=$ | 7.8300                            |
| $r_{66}=$ | -7.2040  | $d_{66}=$ | 3.0000                            |
| $r_{67}=$ | -18.9300 | $d_{67}=$ | 3.1800                            |
| $r_{68}=$ | 16.5080  | $d_{68}=$ | 4.5000                            |
| $r_{69}=$ | -55.6570 |           |                                   |
|           |          |           | $n_{d36}=1.72825 \nu_{d36}=28.46$ |
|           |          |           | $n_{d37}=1.72916 \nu_{d37}=54.68$ |
|           |          |           | $n_{d38}=1.72916 \nu_{d38}=54.68$ |
|           |          |           | $n_{d39}=1.72916 \nu_{d39}=54.68$ |
|           |          |           | $n_{d40}=1.72916 \nu_{d40}=54.68$ |
|           |          |           | $n_{d41}=1.72825 \nu_{d41}=28.46$ |
|           |          |           | $n_{d42}=1.58144 \nu_{d42}=40.77$ |
|           |          |           | $n_{d43}=1.83481 \nu_{d43}=42.72$ |

## 非球面係数

## 第4面

$$P = -0.677 \times 10^{-1}$$

$$A_4 = 2.4683 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = -6.3235 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = 3.2907 \times 10^{-6}$$

【0032】以下に、本発明の硬性鏡光学系の好ましい構成について付記する。挿入部先端側から順に、少なくとも、対物光学系、リレー光学系からなる硬性鏡光学系において、Nを前記リレー光学系のリレー回数として、前記対物光学系が空気と接する負の屈折力の屈折面を(N+2)面以上有することを特徴とする硬性鏡光学系であって、前記対物光学系が、空気と接する負の屈折力の屈折面を(N+2)面以上(N+7)面以下有することを特徴とする硬性鏡光学系。

## 【0033】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明による硬性鏡光学系は、リレー光学系において必然的に発生する負の像面湾曲を、リレー光学系を除く観察光学系で正の像面湾曲を発生させて補正することによって、硬性鏡光学系全体として像面湾曲等の諸収差が良好に補正された像を提供できるという利点を有している。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の硬性鏡光学系の断面図である。

【図2】本発明の実施例2の硬性鏡光学系の断面図である。

【図3】本発明の実施例3の硬性鏡光学系の断面図である。

【図4】本発明の実施例4の硬性鏡光学系の断面図である。

【図5】本発明の実施例5の硬性鏡光学系の断面図である。

【図6】実施例1の収差図である。

【図7】実施例2の収差図である。

【図8】実施例3の収差図である。

【図9】従来の硬性鏡光学系の1例の断面図と収差図である。

【図10】従来の硬性鏡光学系のもう1つの例の断面図と収差図である。

## 【符号の説明】

1…対物光学系

2…リレー光学系

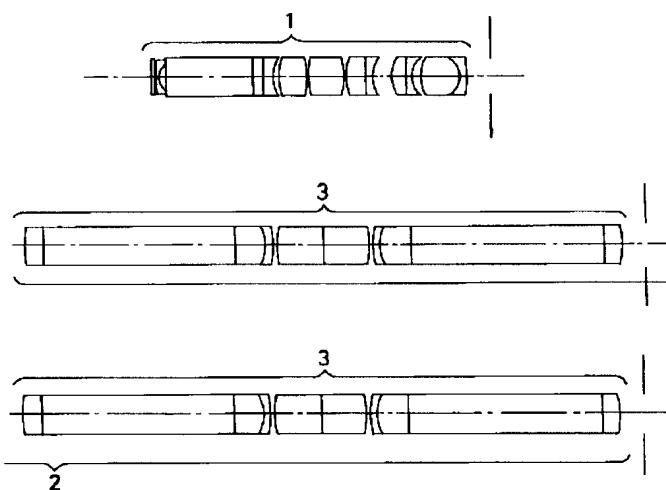
3…1回のリレー光学系

4…接眼光学系

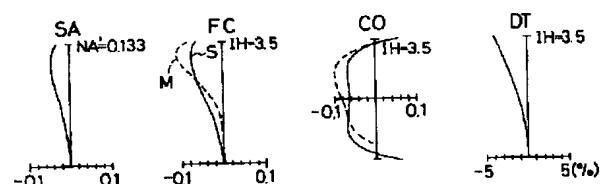
5…像反転光学系

6…挿入部

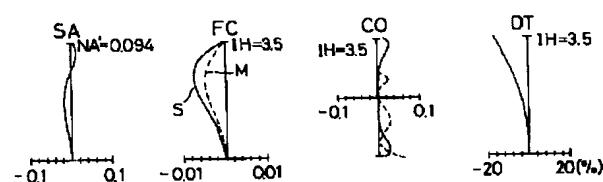
【図1】



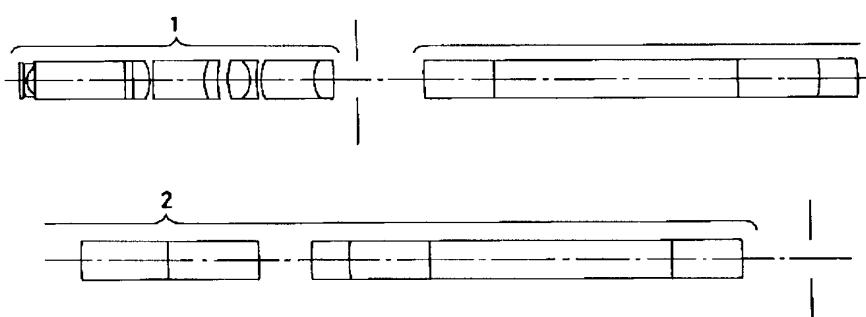
【図6】



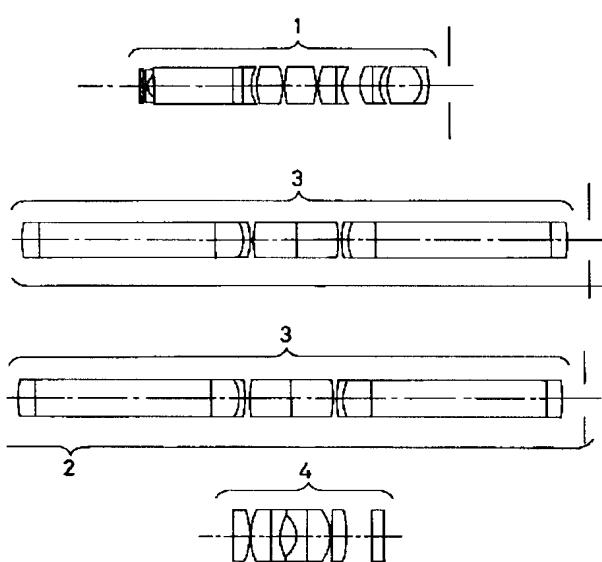
【図8】



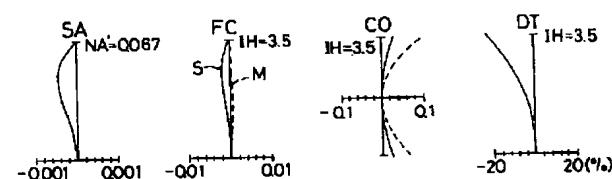
【図2】



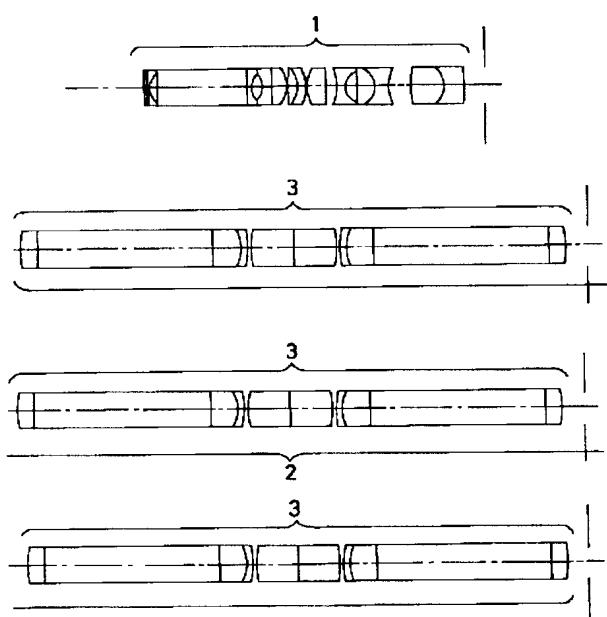
【図4】



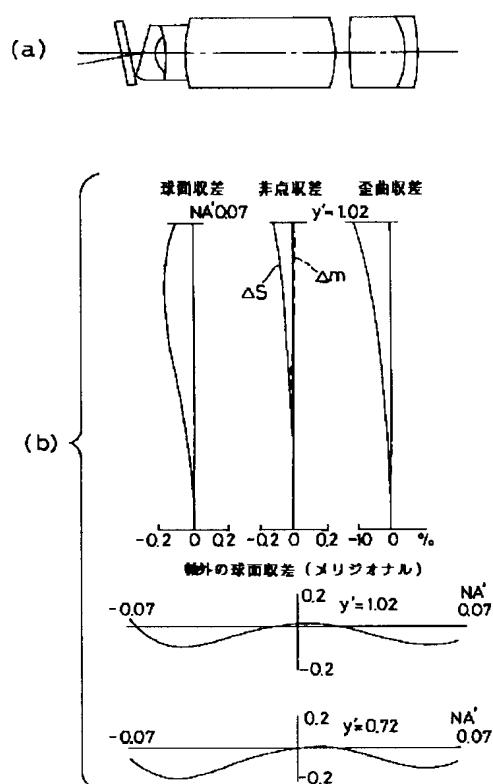
【図7】



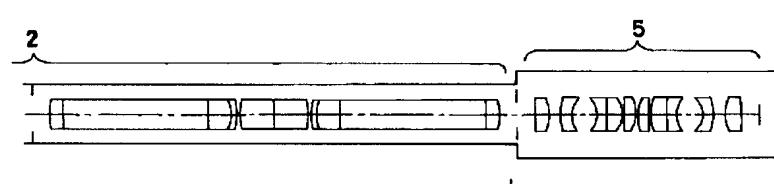
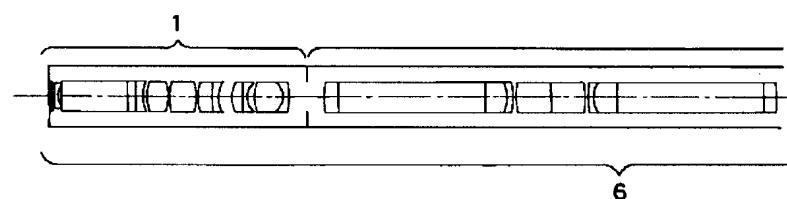
【図3】



【図10】



【図5】



【図9】

